PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 7 : G01F 1/84 — A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 00/36379

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 22. Juni 2000 (22.06.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/09166

(22) Internationales Anmeldedatum: 26. November 1999 (26.11.99)

(30) Prioritätsdaten:
98123680.5 — 11. Dezember 1998 (11.12.98) — EP
60/120,797 — 19. Februar 1999 (19.02.99) — US

(71) Anmelder: ENDRESS + HAUSER FLOWTEC AG [CH/CH]; Kägenstrasse 7, CH–4153 Reinach (CH).

(72) Erfinder: ECKERT, Gerhard; Angerstrasse 25, D–79618 Rheinfelden (DE). HÄBERLI, Roman; Grossackerstrasse 13, CH–4566 Halten (CH). MATT, Christian; Bahnhofstrasse 28, CH–4147 Aesch (CH). WENGER, Alfred; Schulstrasse 170, CH–8413 Neftenbach (CH).

(74) Anwalt: ANDRES, Angelika; Endress + Hauser (Deutschland) Holding GmbH, Patentabteilung, Postfach 22 22, D–79574 Weil am Rhein (DE).

(81) Bestimmungsstaaten: CN, IN, JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

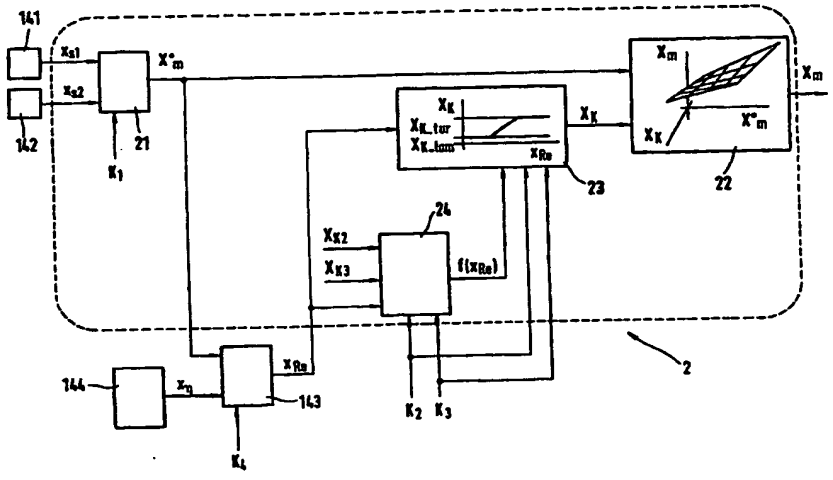
Veröffentlicht
Mit internationalem Recherchenbericht.
Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.

(54) Title: CORIOLIS–TYPE MASS FLOWMETER/DENSIMETER

(54) Bezeichnung: CORIOLIS–MASSEDURCHFLUSS–/DICHTEMESSER

(57) Abstract

The inventive Coriolis–type mass flowmeter/densimeter is as compact as possible and provides highly precise measurement results which are independent of the current speed field of the medium to be measured. Said mass flowmeter/densimeter comprises at least one measuring tube (11) through which the medium flows and which oscillates during operation. A measuring means (141) for measuring the oscillations is arranged at the inlet end ofhe measuring tube (11) and provides a measurement signal (x_{s1}). A measuring means (142) for measuring the oscillations is arranged at the outlet of the measuring tube (11) and provides a measurement signal (x_{s2}). A measuring means (143) provides measurement signal (x_{Re}) which represents the current Reynolds number of the flowing medium. An evaluation electronics device (2) generates a highly precise measurement value (X_m) from the measurement signals (x_{s1}, x_{s2}, x_{Re}). This measurement value (X_m) represents the mass through–flow. Said evaluation electronics device (2) also generates the measurement value (X_ρ) from the measurement signals (x_{s1}, x_{s2}). This measurement value (X_ρ) represents the current density of the medium.



(57) Zusammenfassung

Dieser Coriolis–Massedurchfluß–/Dichtemesser soll bei möglichst kompakter Bauweise hochgenaue Meßergebnisse liefern, die unabhängig vom momentanen Geschwindigkeitsfeld des zu messenden Mediums sind. Hierzu umfaßt er mindestens ein Meßrohr (11), das vom Medium durchströmt ist und im Betrieb in Schwingungen versetzt wird. Ein Meßmittel (141) zum Messen der Schwingungen ist einlaßseitig am Meßrohr (11) angeordnet und liefert ein Meßsignal (x_{s1}). Ein Meßmittel (142) zum Messen der Schwingungen ist auslaßseitig am Meßrohr (11) angeordnet und liefert ein Meßsignal (x_{s2}). Ein Meßmittel (143) liefert ein die momentane Reynolds–Zahl des strömenden Mediums repräsentierendes Meßsignal (x_{Re}). Eine Auswerte–Elektronik (2) bildet aus den Meßsignalen (x_{s1}, x_{s2}, x_{Re}) den Massedurchfluß repräsentierenden hochgenauen Meßwert (X_m) sowie aus den Meßsignalen (x_{s1}, x_{s2}) den die momentane Dichte des Mediums repräsentierenden Meßwert (X_ρ).

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser

Die Erfindung betrifft einen Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium sowie ein Verfahren zum Erzeugen eines einen Massedurchfluß repräsentierenden Meßwerts.

Bei Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessern für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium beruht die Messung des Massedurchflusses bekanntlich darauf, daß ein Medium durch mindestens ein in die Rohrleitung eingefügtes und im Betrieb schwingendes Meßrohr strömt, wodurch das Medium Corioliskräfte erfährt. Diese bewirken, daß einlaßseitige und auslaßseitige Bereiche des Meßrohrs zueinander phasenverschoben schwingen. Die Größe dieser Phasenverschiebungen ist ein Maß für den Massedurchfluß. Die Schwingungen des Meßrohrs werden daher mittels zweier entlang des Meßrohres voneinander beabstandeter Schwingungssensoren erfaßt und in Meßsignale gewandelt, aus deren gegenseitiger Phasenverschiebung der Massedurchfluß abgeleitet wird.

In der US-A 41 87 721 ist ein Coriolis-Massedurchflußmesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium beschrieben, der umfaßt:

- ein einziges U-förmig gebogenens Meßrohr, das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
- ein Trägermittel, das an einem einlaßseitigen Ende und an einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt,
- eine Erregeranordnung, die das Meßrohr im Betrieb in Schwingungen versetzt,

- ein erstes Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
-- einlaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
-- ein erstes Meßsignal liefert,
- ein zweites Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
-- auslaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
-- ein zweites Meßsignal liefert, und
- eine Auswerte-Elektronik,
-- die einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal abgeleiteten, einen Massedurchfluß repräsentierenden Meßwert liefert.

Ferner ist in der EP-A 849 568 ein Coriolis-Massedurchflußmesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium beschrieben, der umfaßt:
- ein einziges gerades Meßrohr, das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
- ein Trägermittel, das an einem einlaßseitigen Ende und einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt,
- eine Erregeranordnung, die das Meßrohr im Betrieb in Schwingungen versetzt,
- ein erstes Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
-- einlaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
-- ein erstes Meßsignal liefert,
- ein zweites Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
-- auslaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
-- ein zweites Meßsignal liefert, und
- eine Auswerte-Elektronik,
-- die einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal abgeleiteten, einen Massedurchfluß repräsentierenden Meßwert liefert.

Des weiteren ist in den US-A 46 60 421 und US-A 47 33 569 jeweils ein Coriolis-Massedurchflußmesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium beschrieben, der umfaßt:

- ein schraubenförmig gebogenes Meßrohr, das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
- ein Trägermittel, das an einem einlaßseitigen Ende und einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt,
- eine Erregeranordnung, die das Meßrohr im Betrieb in Schwingungen versetzt,
- ein erstes Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
 -- einlaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
 -- ein erstes Meßsignal liefert,
- ein zweites Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
 -- auslaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
 -- ein zweites Meßsignal liefert, und
- eine Auswerte-Elektronik,
 -- die einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal abgeleiteten, einen Massedurchfluß repräsentierenden Meßwert liefert.

Ferner ist in der US-A 44 91 025, in der US-A 46 60 421 sowie in der US-A 52 18 873 jeweils ein Coriolis-Massedurchflußmesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium mit zwei kommunizierenden Meßrohren beschrieben, die im Betrieb vom Medium durchströmt sind. Diese Meßrohre sind mittels eines einlaßseitigen ersten Verteilerstücks mit einem einlaßseitigen ersten Ende und mittels eines auslaßseitigen zweiten Verteilerstücks auslaßseitigen zweiten Ende miteinander verbunden und in einem Trägermittel schwingfähig eingespannt.

Schon die eingangs referierte US-A 41 87 721 - wie auch die EP-A 849 568 - erwähnen, daß mit Coriolis-

Massedurchflußmessern immer auch die momentane Dichte des strömenden Mediums meßbar ist. Für die Erfindung wird daher vorausgesetzt, daß die oben nur als Coriolis-Massedurchflußmesser referierten Geräte auch die momentane Dichte messen, obwohl dies, da selbstverständlich, von den einzelnen Dokumenten nicht immer beschrieben wird.

Bei Coriolis-Massedurchflußmessern bzw. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessern ist das Verhältnis D/L der Weite D des Meßrohr zu dessen Länge L für die Meßgenauigkeit von Bedeutung, wobei die Weite D bei Verwendung eines einzigen Meßrohrs praktisch gleich der Nennweite der angeschlossenen Rohrleitung ist.

Bei einem Verhältnis D/L von größer als etwa 0,05 kann das momentane Geschwindigkeitsfeld des Mediums im Meßrohr die Genauigkeit des Meßergebnisses so beeinträchtigen, daß der daraus resultierende erhöhte Meßfehler ggf. nicht mehr vernachlässigbar klein ist. Messungen haben ergeben, daß bei Verhältnissen D/L größer als 0,05 dieser Einfluß des Geschwindigkeitsfelds einen zusätzlichen Meßfehler von einigen Promille bis zu einem Prozent bewirken kann.

Der Minimierung des Verhältnisses D/L sind jedoch konstruktionsbedingte Grenzen gesetzt, nämlich einerseits wegen der in einem konkreten Anwendungsfall fest vorgegebenen Nennweite der Rohrleitung und andererseits wegen der Forderung nach möglichst kurzen und kompakten Geräten.

Eine Aufgabe der Erfindung ist es, einen Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser anzugeben, der bei möglichst kompakter Bauweise hochgenaue Meßergebnisse liefert, unabhängig vom momentanen Geschwindigkeitsfeld. Eine

weitere Aufgabe besteht darin, ein entsprechendes Verfahren für die Erzeugung des Meßergebnisses anzugeben.

Zur Lösung dieser Aufgabe besteht die Erfindung in einem Coriolis-Massedurchfluß-/ Dichtemesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium, der umfaßt:

- mindestens ein Meßrohr, das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
- ein Trägermittel, das an einem einlaßseitigen Ende und einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt,
- eine Erregeranordnung, die das Meßrohr im Betrieb in Schwingungen versetzt,
- ein erstes Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
 -- einlaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
 -- ein erstes Meßsignal liefert,
- ein zweites Meßmittel zum Messen der Schwingungen, das
 -- auslaßseitig am Meßrohr angeordnet ist und
 -- ein zweites Meßsignal liefert,
- ein drittes Meßmittel,
 -- das ein die momentane Reynolds-Zahl des strömenden Mediums repräsentierendes drittes Meßsignal liefert, und
- eine Auswerte-Elektronik,
 -- die einen vom ersten, vom zweiten und vom dritten Meßsignal abgeleiteten, einen Massedurchfluß repräsentierenden ersten Meßwert sowie
 -- einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal abgeleiteten, eine momentane Dichte des Mediums repräsentierenden zweiten Meßwert liefert.

Ferner besteht die Erfindung in einem Verfahren zum Erzeugen eines einen Massedurchfluß repräsentierenden ersten Meßwerts mittels eines Coriolis-Massedurchfluß-/

Dichtemesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium, der umfaßt:

- mindestens ein Meßrohr, das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
- ein Trägermittel, das an einem einlaßseitigen Ende und einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt, und
- eine Erregeranordnung, die das Meßrohr im Betrieb in Schwingungen versetzt, und

welches Verfahren folgende Schritte umfaßt:

- Erfassen der Schwingungen des Meßrohrs und Erzeugen eines einlaßseitige Schwingungen repräsentierenden ersten Meßsignals und eines auslaßseitige Schwingungen repräsentierenden zweiten Meßsignals zum Entwickeln eines einen unkorrigierten Massedurchfluß repräsentierenden Zwischenwertes,
- Erzeugen eines eine momentane Reynolds-Zahl des strömenden Mediums repräsentierenden dritten Meßsignals mittels des Zwischenwertes und mittels eines eine dynamische Viskosität des Mediums repräsentierenden vierten Meßsignals sowie
- Korrigieren des Zwischenwertes mittels eines vom dritten Meßsignal abgeleiteten Korrekturwertes.

Nach einer ersten Ausgestaltung der Erfindung liefert die Auswerte-Elektronik einen vom dritten Meßsignal abgeleiteten Korrekturwert.

Nach einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung liefert die Auswerte-Elektronik den Korrekturwert mittels eines durch Kalibrierung ermittelten konstanten Korrekturwerts für laminare Strömung, mittels eines durch Kalibrierung ermittelten konstanten Korrekturwerts für turbulente Strömung und mittels eines nach einer zwischen den beiden

konstanten Korrekturwerten liegenden Interpolations-Funktion ermittelten interpolierten Korrekturwerts.

Nach einer dritten Ausgestaltung der Erfindung weist die Auswerte-Elektronik einen Tabellenspeicher auf, in dem von der Reynolds-Zahl abhängige digitalisierte Korrekturwerte abgelegt sind, und der mittels einer aufgrund des dritten Meßsignals gebildeten digitalen Speicherzugriffsadresse den Korrekturwert liefert.

Nach einer vierten Ausgestaltung der Erfindung liefert die Auswerte-Elektronik einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal abgeleiteten, einen unkorrigierten Massedurchfluß repräsentierenden Zwischenwert.

Nach einer fünften Ausgestaltung der Erfindung liefert die Auswerte-Elektronik den ersten Meßwert aufgrund des Zwischenwerts und des Korrekturwerts.

Nach einer sechsten Ausgestaltung der Erfindung umfaßt der Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser ein viertes Meßmittel, das eine dynamische Viskosität des Mediums erfaßt und ein diese repräsentierendes viertes Meßsignal liefert.

Nach einer siebenten Ausgestaltung der Erfindung liefert das dritte Meßmittel das dritte Meßsignal aufgrund des unkorrigierten Zwischenwerts und des vierten Meßsignals.

Nach einer achten Ausgestaltung der Erfindung erfaßt das vierte Meßmittel eine kinematische Viskosität des Mediums und liefert ein diese repräsentierendes fünftes Meßsignal.

Nach einer neunten Ausgestaltung der Erfindung liefert das vierte Meßmittel das vierte Meßsignal aufgrund des zweiten Meßwert und des fünften Meßsignal.

Nach einer zehnten Ausgestaltung der Erfindung weist die Erregeranordnung eine Spule auf, die mit einer Erregerenergie gespeist ist und von deren Strom und/oder von deren Spannung leitet das vierte Meßmittel das vierte bzw. das fünfte Meßsignal ab.

Nach einer elften Ausgestaltung der Erfindung leitet das vierte Meßmittel das vierte bzw. das fünfte Meßsignal von einer entlang der Rohrleitung gemessenen Druckdifferenz ab.

Nach einer ersten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung, wird das vierte Meßsignal von einem Strom und/oder von einer Spannung einer in die Erregeranordnung eingespeisten Erregerenergie abgeleitet.

Nach einer zweiten Ausgestaltung des Verfahrens der Erfindung, wird das vierte Meßsignal von einer entlang der Rohrleitung gemessenen Druckdifferenz abgeleitet.

Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, daß der Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser auch bei einem Verhältnis D/L größer 0,05 einen Massedurchflußwert liefert, bei dem der Einfluß des momentanen Geschwindigkeitsfelds auf die Meßgenauigkeit kompensiert ist.

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert, die in den Figuren der Zeichnung dargestellt sind. Gleiche Teile sind in allen Figuren mit

denselben Bezugszeichen versehen; wenn es die Übersichtlichkeit erfordert, wird auf bereits erwähnte Bezugszeichen in nachfolgenden Figuren verzichtet.

Fig. 1 zeigt schematisch einen Massedurchflußaufnehmer eines Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers in einer vertikal teilweise geschnittenen Längsansicht;

Fig. 2 zeigt schematisch nach Art eines Blockschaltbildes Teilschaltungen der Auswerteelktronik des Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers, die der Erhöhung der Meßgenauigkeit des ermittelten Massedurchflusses dienen;

Fig. 3 zeigt schematisch nach Art eines Blockschaltbildes eine Teilschaltung, die dazu dient, aus einem unkorrigiert ermittelten Meßwert für den Massedurchfluß mittels eines Korrekturwerts einen korrigierten Meßwert für den Massedurchfluß zu erzeugen;

Fig. 4 zeigt schematisch nach Art eines Blockschaltbildes eine Teilschaltung, die aus einer gemessenen Reynolds-Zahl des Mediums einen Korrekturwert für den Massedurchfluß erzeugt;

Fig. 5 zeigt schematisch nach Art eines Blockschaltbildes eine Teilschaltung, die einen Korrekturwert für den Massedurchfluß nach einer Interpolations-Funktion erzeugt;

Fig. 6a zeigt schematisch nach Art eines Blockschaltbildes eine Teilschaltung, die aus einer gemessenen dynamischen Viskosität des Mediums die Reynolds-Zahl bestimmt;

Fig. 6b zeigt schematisch nach Art eines Blockschaltbildes Teilschaltung, die aus einer gemessenen kinematischen Viskosität des Mediums die Reynolds-Zahl bestimmt;

Fig. 7 zeigt schematisch nach Art eines Blockschaltbildes eine Teilschaltung, die aus einer gemessenen Erregungsenergie der Erregeranordnung die kinematischen Viskosität des Mediums bestimmt;

Fig. 8a zeigt schematisch nach Art eines Blockschaltbildes eine Teilschaltung, die aus einer in Strömungsrichtung gemessenen Druckdifferenz Meßwerte für die kinematische Viskosität bei laminarer Strömung erzeugt;

Fig. 8b zeigt schematisch nach Art eines Blockschaltbildes eine Teilschaltung, die aus einer in Strömungsrichtung gemessenen Druckdifferenz Meßwerte für die kinematische Viskosität bei turbulenter Strömung erzeugt;

Fig. 9 zeigt schematisch nach Art eines Blockschaltbildes eine Teilschaltung, die die momentane kinematische Viskosität des Mediums bestimmt.

In Fig. 1 ist in einer vertikal teilweise geschnittenen Längsansicht ein Massedurchflußaufnehmer 1 eines Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers mit einem einzigen geraden Meßrohr 11 dargestellt, das ein einlaßseitiges erstes Meßrohrende und ein auslaßseitiges zweites Meßrohrende aufweist.

Am ersten Meßrohrende ist ein erster Flansch 111 und am zweiten Meßrohrende ist ein zweiter Flansch 112 angebracht, mittels denen der Massedurchflußaufnehmer 1 in eine im Betrieb von einem Medium durchströmte, nicht dargestellte, Rohrleitung, insb. druckdicht, einfügt ist.

Der Massedurchflußaufnehmer 1 umfaßt weiterhin ein Trägermittel 12, mit einer am ersten Meßrohrende fixierten ersten Endplatte 121, mit einer am zweiten Meßrohrende fixierten zweite Endplatte 122 und mit einem zwischen die erste und die zweite Endplatte 121, 122 eingefügten Trägerrohr 123. Die beiden Endplatten 121, 122 sind mit dem Meßrohr 11 sowie mit dem Trägerrohr 123 starr und druckdicht, insb. vakuumdicht verbunden. Das Meßrohr 11 verläuft somit freitragend in einem Lumen des Trägerrohrs 123 zwischen den Endplatten 121, 122 und kann somit in Schwingungen versetzt werden.

Die Verbindungen des Meßrohrs 11 mit den Endplatten 121, 122 und mit den Flanschen 111, 112 bzw. die Verbindungen der Endplatten 121, 122 mit dem Trägerrohr 123 können z.B. Schweiß- oder Lötverbindungen sein; die Endplatten 121, 122 können am Trägerrohr 123 aber auch durch Schraubverbindungen, von denen eine Schraubverbindung 124 stellvertretend dargestellt ist, befestigt sein. Des weiteren ist es möglich die beiden Endplatten 121, 122 mit dem Trägerrohr 123 einstückig auszubilden.

Anstatt des in Fig. 1 dargestellten Massedurchflußaufnehmers 1 sind auch Massedurchflußaufnehmer mit zwei geraden Meßrohren üblich.

Anstelle gerader Meßrohre können aber auch alle anderen, bei Coriolis-Massedurchfluß-/ Dichtemessern beschriebenen Formen von Meßrohren verwendet werden, insb. U- oder omega-förmig ausladende oder schraubenförmig gebogene Meßrohre. Ferner sind auch mehrere,insb. zwei, hinsichtlich der Strömung des Mediums parallel- oder in Serie geschaltete Meßrohre verwendbar. Bei parallelgeschalteten Meßrohren weisen die Enden zusätzlich noch entsprechende Verteilerstücke auf, die der Aufteilung bzw. der Zusammenführung des strömenden Mediums dienen.

Medium kann jeder strömungsfähige Stoff sein, insb. Flüssigkeiten, Gase oder Dämpfe.

Die Meßrohre sind bevorzugt aus Titan,Zirkonium oder Edel-Stahl gefertigt.

In Fig. 1 ist weiterhin eine Erregeranordnung 13 gezeigt, die innerhalb des Trägermittels 12 zwischen Meßrohr 11 und Trägerrohr 123 bevorzugt in der Mitte zwischen der ersten und der zweiten Endplatte 121, 122 angebracht ist. Diese Erregeranordnung 13 versetzt das Meßrohr 11 im Betrieb in Schwingungen bei einer mechanischen Resonanzfrequenz, die wiederum ein Maß für die momentane Dichte des Mediums ist.

Die Erregeranordnung 13 kann z.B. eine Tauchanker-Spulenanordnung sein, die einen am Meßrohr 11 befestigten weichmagnetischen Spulenkern mit einem eingelagerten Dauermagneten und eine am Trägerrohr 123 befestigte, im

Betrieb von einem zeitlich veränderlichen Erregerstrom durchflossene Spule umfaßt, wobei der Dauermagnet in die Spule eintaucht. Durch die Wirkung des zeitlich veränderlichen Erregerstroms wird der Dauermagnet bewegt und damit das Meßrohr 11 in Schwingungen versetzt, wobei der einlaßseitige Bereich und der auslaßseitige Bereich bei hindurchströmendem Medium zueinander phasenverschoben schwingen.

Als ein Beispiel für eine dem Antreiben der Erregeranordnung 13 dienende Erreger-Elektronik wird auf die US-A 48 01 897 hingewiesen.

Bei geraden Meßrohren sind die Schwingungen meist Biegeschwingungen, die den Schwingungen einer Saite vergleichbar sind. Diesen Biegeschwingungen können außerdem Torsionsschwingungen überlagert sein, vgl. EP-A 849 568. Neben den genannten Biege-/ Torsionsschwingungen sind jedoch auch Hoop-Mode-Schwingungen üblich, bei denen sich das Meßrohr peristaltisch bewegt, vgl.die US-A 49 49 583.

Bei U- oder omega-förmigen Meßrohren sind die Schwingungen Ausleger-Schwingungen, die denen einer Stimmgabel vergleichbar sind, vgl. US-A 41 87 721

Innerhalb des Trägermittels 12 sind zwischen Meßrohr 11 und Trägerrohr 123 entlang des Meßrohrs 11 voneinander beabstandet ein erstes Meßmittel 141 und ein zweites Meßmittel 142 zum Messen der Schwingungen angeordnet. Die Meßmittel 141, 142 sind bevorzugt von der Mitte des Meßrohrs 11 gleich weit entfernt angebracht und liefern ein erstes bzw. zweites die Schwingungen repräsentierendes Meßsignal x_{s1}, x_{s2}.

Die Meßmittel 141, 142 weisen dazu Schwingungsaufnehmer auf, die gemäß der US-A 57 36 653 bevorzugt als elektrodynamische Schwingungsaufnehmer ausgeführt sind; sie können aber auch als optische Schwingungsaufnehmer ausgeführt sein, vgl. die US-A 48 01 897.

Der Massedurchflußaufnehmer 1 ist gegenüber Umgebungseinflüssen durch ein Aufnehmer-Gehäuse 15 geschützt. Dieses ist so ausgeführt, daß sowohl das Trägermittel 12 als auch alle am Massedurchflußaufnehmer 1 angeschlossenen elektrischen Verbindungsleitungen darin untergebracht sind; letztere sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Das Aufnehmer-Gehäuse 15 ist mit einem halsartigen Übergangsstück 16 versehen, an dem ein Elektronik-Gehäuse 17 fixiert ist.

Im Elektronik-Gehäuse 17 sind sowohl die bereits erwähnte Erreger-Elektronik als auch eine Auswerte-Elektronik 2 sowie weitere, dem Betreiben des Coriolis-Massedurchfluß-/ Dichtemessers dienende Schaltungsanordnungen, untergebracht. Derartige Schaltungsanordnungen können z.B. eine von einer externen Energiequelle gespeiste Versorgungs-Elektronik zur internen Energieversorgung des Coriolis-Massedurchfluß-/ Dichtemessers und/oder eine Kommunikations-Elektronik zur Übertragung von Daten, z.B. Meß- und/oder Gerätedaten, zwischen dem Coriolis-Massedurchfluß-/ Dichtemesser und einer externen Signalverarbeitungseinheit sein.

Bei einer ggf. ungünstigen Beeinflussung des Schwingungsverhaltens des Massedurchflußaufnehmers 1 durch

das Elektronik-Gehäuse 17, kann dieses auch getrennt vom Massedurchflußaufnehmer 1 angeordnet werden. Dann besteht lediglich eine elektrische Verbindungleitung zwischen Elektronik-Gehäuse 17 und Massedurchflußaufnehmer 1, so daß beide praktisch voneinander vibrations-entkoppelt sind.

In Fig. 2 sind nach Art eines Blockschaltbildes Teilschaltungen der Auswerte-Elektronik 2 des Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers dargestellt, die der Erzeugung eines den Massedurchfluß repräsentierenden ersten Meßwerts X_m dienen.

Gemäß Fig. 2 sind die Meßsignale x_{s1}, x_{s2} einer Meßschaltung 21 der Auswerte-Elektronik 2 zugeführt. Als Meßschaltung 21 kann z.B. die in der US-A 56 48 616 beschriebene Auswerte-Elektronik eines Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers dienen, die z.B. unter Verwendung einer Erregerschaltung entsprechend der US-A 48 01 897 einen Massedurchflußwert ermittelt. Selbstverständlich können auch andere dem Fachmann bekannte Auswerte-Elektroniken für Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser verwendet werden.

Der von der Meßschaltung 21 ermittelte Massedurchflußwert ist jedoch bei großen Verhältnissen D/L noch nicht ausreichend genau und muß dementsprechend korrigiert werden; er wird daher im folgenden als Zwischenwert X^*_m bezeichnet, aus dem wiederum der den Massedurchfluß ausreichend genau repräsentierender Meßwert X_m abgleitet ist.

Die Korrektur des Zwischenwerts X^*_m geht auf im folgenden beschriebene Erkenntnisse der Erfinder zurück.

Der Massedurchfluß im Meßrohr 11 ist durch nachstehende Gleichung gegeben:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \rho \cdot v_m \qquad (1)$$

Darin sind:

dQ/dt	der Massedurchfluß,
D	die Weite des Meßrohrs 11,
ρ	die momentane Dichte des Mediums und
v_m	die mittlere Geschwindigkeit des strömenden Mediums im Meßrohr 11.

Die mittlere Geschwindigkeit v_m ist die arithmetische Mittelung aller Geschwindigkeitsvektoren des strömenden Mediums über einer Querschnittsfläche des Meßrohrs 11.

Für den Zwischenwert X^*_m eines Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers gilt:

$$X_m^* = K_1 \cdot \frac{X_\varphi}{X_f} \qquad (2)$$

Darin sind:

X_f	ein die momentane Frequenz der Schwingungen des Meßrohrs 11 repräsentierender Meßwert,
X_φ	ein die momentane Phasenverschiebung zwischen dem ersten und dem zweiten Meßsignal x_{s1}, x_{s2} repräsentierender Meßwert und
K_1	ein erster Parameter des Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers.

Der Parameter K_1 ist in erster Linie von der momentanen Temperatur des Mediums abhängig; er kann ferner auch noch von der momentanen Dichte des Mediums abhängig sein.

Für Gl.(2) wird vorausgesetzt, daß die den Parameter K_1 bestimmenden Eigenschaften des Mediums, nämlich die momentane Temperatur und die momentane Dichte,bekannt sind, da sie ebenfalls beim Betrieb von Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessern gemessen werden, vgl. für die Messung der momentanen Temperatur die US-A 47 68 384 und für die Messung der momentanen Dichte die US-A 41 87 721.

Für Gl.(2) wird weiterhin angenommen, daß die durch die Coriolis-Kräfte verursachte Phasenverschiebung zwischen einer einlaßseitig erfaßten und einer auslaßseitig erfaßten Schwingung des Meßrohrs 11 proportional zum momentanen Massedurchfluß ist. Diese Annahme setzt voraus, daß alle im Meßrohr 11 auftretenden Geschwindigkeitsfelder bei gleichem momentanen Massedurchfluß gleiche Coriolis-Kräfte bewirken. Dies trifft umso genauer zu, je kleiner das Verhältnis D/L ist, da in diesem Fall alle Geschwindigkeitsfelder einander gleich oder zumindest sehr ähnlich sind. Bei großen Verhältnissen D/L, insb. größer 0,05, trifft diese Annahme immer schlechter zu und führt zu einem Zwischenwert X^*_m, der eine immer geringer werdende Meßgenauigkeit aufweist.

Untersuchungen haben ergeben, daß der Wert der entsprechenden Meßungenauigkeit insb. davon abhängt, ob die Strömung des Mediums laminar oder turbulent ist.

Somit kann zur Ermittlung des Meßwerts X_m eine Korrektur des Zwischenwerts X^*_m dadurch vorgenommen werden, daß das Vorhandensein laminarer bzw. turbulenter Strömung im Meßrohr 11 ermittelt und in einem Korrekturwert X_K für den Zwischenwert X^*_m berücksichtigt wird. Durch eine entsprechende Modifizierung von Gl.(2) gilt für den Meßwert X_m:

$$X_m = (1+X_K)\cdot K_i \cdot \frac{X_\varphi}{X_f} = (1+X_K)\cdot X^*_m \qquad (3)$$

Die Gl.(3) ist mit einer zweiten Teilschaltung 22 der Auswerte-Elektronik 2 realisiert, die in Fig. 3 nach Art eines Blockschaltbildes dargestellt ist.

Die Teilschaltung 22 umfaßt einen ersten Addierer 221, mit dem ein erster Summen-Wert für $1+X_K$ aus dem Korrekturwert X_K an einem ersten Eingang und aus einem Wert für eins an einem zweiten Eingang gebildet und an einem Ausgang ausgegeben wird.

Des weiteren umfaßt die zweite Teilschaltung 22 einen ersten Multiplizierer 222 mit einem ersten Eingang für den ersten Summen-Wert und einem zweiten Eingang für den Zwischenwert X^*_m. Der Multiplizierer 222 liefert an einem Ausgang einen ersten Produkt-Wert für $(1+X_K)\cdot X^*_m$, der dem Meßwert X_m entspricht.

Der Korrekturwert X_K wird bei der Erfindung aus der momentanen Reynolds-Zahl des Mediums abgeleitet, die eine das Geschwindigkeitsfeld des strömenden Mediums eindeutig beschreibende Größe ist. Dementsprechend weist der Massedurchflußaufnehmer 1 ein drittes Meßmittel 143 zum Messen der momentanen Reynolds-Zahl des Mediums auf, vgl.

Fig. 2. Das Meßmittel 143 liefert ein die Reynolds-Zahl repräsentierendes drittes Meßsignal x_{Re} und führt es der Auswerte-Elektronik 2 zu.

Die Werte des Meßsignal x_{Re} sind bei laminarer Strömung kleiner als bei turbulenter. Für jede Weite D des Meßrohrs 11 und der zugehörigen Nennweite der bereits erwähnten Rohrleitung existieren somit ein oberer Grenzwert der Reynolds-Zahl für laminare und ein unterer Grenzwert der Reynolds-Zahl für turbulente Strömungen, welche beiden Grenzwerte nicht identisch sind. Diese beiden Grenzwerte werden während des Kalibrierens ermittelt.

Der beim Kalibrieren ermittelte obere Grenzwert der Reynolds-Zahl für laminare Strömung ist durch einen zweiten Parameter K_2 repräsentiert, der in der Auswerte-Elektronik 2 abgespeichert wird. Der beim Kalibrieren ermittelte untere Grenzwert der Reynolds-Zahl für turbulente Strömung ist durch einen dritten Parameter K_3 repräsentiert, der in der Auswerte-Elektronik 2 abgespeichert wird.

Ein Vergleich des Meßsignal x_{Re} mit diesen beiden Parametern K_2, K_3 ergibt, ob laminare oder turbulente Strömung im Meßrohr 11 vorliegt, und liefert einen entsprechenden Korrekturwert X_K. Diesem Vergleich liegen folgende Ungleichungen zugrunde:

$$X_K = \begin{cases} X_{K2} & \text{für } x_{Re} < K_2 \\ f(x_{Re}) & \text{für } K_2 \le x_{Re} \le K_3 \\ X_{K3} & \text{für } K_3 < x_{Re} \end{cases} \qquad (4)$$

Darin sind:

X_{K2} ein durch die Kalibrierung ermittelter konstanter Korrekturwert für laminare Strömung,

X_{K3} ein durch die Kalibrierung ermittelter konstanter Korrekturwert für turbulente Strömung und

$f(x_{Re})$ eine von X_{K2} nach X_{K3} monoton wachsende Interpolations-Funktion, deren Verlauf eingestellt werden kann, s.u..

Das Ergebnis des Vergleiches des Meßsignals x_{Re} mit den beiden Parametern K_2, K_3 gemäß Gl.(4) ist ein Korrekturwert $X_K = X_{K2}$ für laminare Strömung, ein Korrekturwert $X_K = X_{K3}$ für turbulente Strömung oder ein der Interpolations-Funktion $f(x_{Re})$ entsprechender interpolierter Korrekturwert $X_K = f(x_{Re})$.

Die Gl.(4) ist mittels einer dritten Teilschaltung 23 realisiert, deren einzelne Funktionselemente in Fig. 4 nach Art eines Blockschaltbildes dargestellt sind.

Die Teilschaltung 23 umfaßt einen ersten Komparator 231 mit einem Referenz-Eingang für den Parameter K_2 und mit einem Signal-Eingang für das Meßsignal x_{Re}. Der Komparator 231 gibt einen binären ersten Vergleichs-Wert für $x_{Re} < K_2$ ab, der gleich eins ist, wenn ein momentaner Wert des Meßsignals x_{Re} kleiner als der Wert des Parameters K_2 ist; anderenfalls ist der erste Vergleichs-Wert gleich null. Der erste Vergleichs-Wert ist einem ersten Eingang eines zweiten Multiplizierers 232 zugeführt. An einem zweiten Eingang dieses Multiplizierers 232 liegt der konstante Korrekturwert für laminare Strömung X_{K2}.

Weiterhin umfaßt die Teilschaltung 23 einen zweiten Komparator 233 mit einem Referenz-Eingang für den Parameter K_3 und mit einem Signal-Eingang für das Meßsignal x_{Re}. Der Komparator gibt an einem Ausgang einen binären

zweiten Vergleichs-Wert für $x_{Re} > K_3$ ab, der gleich eins ist, wenn der momentane Wert des Meßsignals x_{Re} größer als der Wert des Parameters K_3 ist; anderenfalls ist der zweite Vergleichs-Wert gleich null.

Der zweite Vergleichs-Wert ist einem ersten Eingang eines dritten Multiplizierers 234 zugeführt. An einem zweiten Eingang des Multiplizierers 234 liegt der konstante Korrekturwert für turbulente Strömung X_{K3}.

Ferner umfaßt die Teilschaltung 23 ein NOR-Gatter 235 mit einem ersten Eingang für den ersten und mit einem zweiten Eingang für den zweiten Vergleichs-Wert. Das NOR-Gatter 235 liefert einen binären dritten Vergleichs-Wert entsprechend $K_2 \leq x_{Re} \leq K_3$, der gleich eins ist, wenn der erste und der zweite Vergleichs-Wert gleich null sind; anderenfalls ist der dritte Vergleichs-Wert gleich null.

Mit einem dem NOR-Gatter 235 nachgeschalteten Inverter 236 wird aus dem dritten Vergleichs-Wert ein zu diesem invertierter vierter Vergleichs-Wert gebildet, der einem dritten Eingang des Multiplizierers 232 und einem dritten Eingang des Multiplizierers 234 zugeführt ist.

Somit liefert der Multiplizierer 232 einen zweiten Produkt-Wert, der gleich dem konstanten Korrekturwert X_{K2} für laminare Strömung ist, wenn der erste und der vierte Vergleichs-Wert gleich eins sind; anderenfalls ist der zweite Produkt-Wert gleich null. Analog dazu liefert der Multiplizierer 234 einen dritten Produkt-Wert, der gleich dem konstanten Korrekturwert X_{K3} für turbulente Strömung ist, wenn der zweite und der vierte Vergleichs-Wert gleich eins sind; anderenfalls ist der dritte Produkt-Wert gleich null.

Der der Interpolations-Funktion $f(x_{Re})$ entsprechenden interpolierte Korrekturwert, dessen Bildung weiter unten beschrieben wird, ist einem ersten Eingang eines vierten Multiplizierers 237 zugeführt. Der dritte Vergleichs-Wert liegt an einem zweiten Eingang des Multiplizierers 237, so daß dieser einen vierten Produkt-Wert abgibt, der gleich dem Korrekturwert X_K ist, wenn der dritte Vergleichs-Wert gleich eins ist; ist der dritte Vergleichs-Wert gleich null, so ist der vierte Produkt-Wert ebenfalls gleich null.

Der zweite, der dritte bzw. der vierte Produkt-Wert sind einem ersten, zweiten bzw. einem dritten Eingang eines zweiten Addierers 238 zugeführt, der einen zweiten Summen-Wert liefert. Da gleichzeitig immer nur entweder der zweite oder der dritte oder der vierte Produkt-Wert ungleich null ist, entspricht der zweite Summen-Wert dem gesuchten Korrekturwert X_K.

Der Korrekturwert X_K kann aber auch mittels einer in der Teilschaltung 23 vorgesehenen Fuzzy-Logic generiert werden. Dazu werden der Komparator 231 durch eine erste Zugehörigkeits-Funktion für laminare Strömung, der Komparator 233 durch eine zweite Zugehörigkeits-Funktion für turbulente Strömung und das NOR-Gatter 235 durch eine dritte Zugehörigkeits-Funktion für gleichzeitig vorliegende laminare und turbulente Strömung ersetzt. Diese Zugehörigkeits-Funktionen sind durch Kalibriermessungen zu ermitteln und liefern einen den ersten, den zweiten bzw. den dritten binären Vergleichs-Wert ersetzenden ersten, zweiten bzw. dritten Zugehörigkeits-Wert, die in einem Wertebereich zwischen null und eins liegen. Der Inverter 236 ist dabei z.B.

durch einen Subtrahierer zu ersetzen, der dann vom Wert eins den dritten Zugehörigkeits-Wert abzieht.

Für Strömungsverhältnisse mit laminaren und mit turbulenten Anteilen wird nach Gl.(4) der Korrekturwert X_K mittels der Interpolations-Funktion $f(x_{Re})$ interpoliert. Die Interpolations-Funktion $f(x_{Re})$ läßt sich in üblicher Weise als eine Potenzreihe entwickeln, z.B. mit dem Parameter K_2 als Entwicklungsstelle, so daß für $f(x_{Re})$ gilt:

$$f(x_{Re}) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n (x_{Re} - K_2)^n = a_0 + a_1(x_{Re} - K_2) + a_2(x_{Re} - K_2)^2 \ldots \quad (5)$$

Damit ist die Interpolations-Funktion $f(x_{Re})$ mittels eines Näherungspolynoms vom Grade n mit beliebiger Genauigkeit realisierbar. Die Koeffizienten a_n der Interpolations-Funktion $f(x_{Re})$ sind durch Kalibrierung zu ermitteln.

Soll z.B. das Näherungspolynom nur ersten Grades sein, also $n = 1$ gelten, so ergibt sich für die entsprechende Interpolations-Funktion $f_1(x_{Re})$ ein linearer Zusammenhang:

$$f_1(x_{Re}) = a_0 + a_1(x_{Re} - K_2) \quad (6)$$

Unter Berücksichtigung von Gl.(4) ergibt sich für Gl.(6):

$$f_1(x_{Re}) = X_{K2} + \frac{X_{K3} - X_{K2}}{K_3 - K_2}(x_{Re} - K_2) \quad (7)$$

In Fig. 5 ist eine vierte Teilschaltung 24 nach Art eines Blockschaltbildes dargestellt, die die Interpolations-Funktion $f_1(x_{Re})$ gemäß Gl.(7) realisiert.

Die Teilschaltung 24 umfaßt einen ersten Subtrahierer 241 mit einem Subtrahend-Eingang für den Korrekturwert X_{K2} für

laminare Strömung und mit einem Minuend-Eingang für den Korrekturwert X_{K3} für turbulente Strömung, der einen ersten Differenz-Wert für $X_{K3}-X_{K2}$ erzeugt. Ein zweiter Subtrahierer 242 mit einem Subtrahend-Eingang für den Parameter K_2 und einem Minuend-Eingang für den Parameter K_3 liefert einen zweiten Differenz-Wert für K_3-K_2. Weiterhin liefert ein dritter Subtrahierer 243 mit einem Subtrahend-Eingang für den Parameter K_2 und mit einem Minuend-Eingang für das Meßsignals x_{Re} einen dritten Differenz-Wert für $x_{Re}-K_2$.

Ferner gehören zur Teilschaltung 24 ein erster Dividierer 244 mit einem Dividend-Eingang für den ersten Differenz-Wert und mit einem Divisor-Eingang für den zweiten Differenz-Wert. Der Dividierer 244 gibt einen ersten Quotient-Wert ab, der dem Ausdruck $(X_{K3}-X_{K2})/(K_3-K_2)$ entspricht.

Ein fünfter Multiplizierer 245 mit einem ersten Eingang für den ersten Quotient-Wert und mit einen zweiten Eingang für den dritten Differenz-Wert generiert einen fünften Produkt-Wert für $(x_{Re}-K_2)(X_{K3}-X_{K2})/(K_3-K_2)$, der wiederum einem ersten Eingang eines dritter Addierers 246 zugeführt ist. An einem zweiten Eingang des Addierers 246 liegt der Korrekturwert X_{K2} für laminare Strömung, so daß der Addierer 246 einen dritten Summen-Wert für $X_{K2}+(x_{Re}-K_2)(X_{K3}-X_{K2})/(K_3-K_2)$ abgibt. Dieser dritte Summen-Wert entspricht für den Fall $K_2 \leq x_{Re} \leq K_3$, also bei Strömungsverhältnissen mit laminaren und mit turbulenten Anteilen, dem gesuchten Korrekturwert X_K.

Außer der Gl.(7) kann der Teilschaltung 24 selbstverständlich auch jedes andere, auf den Gln. (4) und (5) basierende Näherungspolynom zugrundegelegt werden.

Anstatt der in den Fig. 4 und Fig. 5 dargestellten Teilschaltungen 23 bzw. 24 kann die Auswerte-Elektronik 2 auch einen Tabellenspeicher enthalten, in dem diskrete Werte für den Korrekturwert X_K abgelegt sind. Auf diese wird über eine aus dem Meßsignal x_{Re} abgeleitete digitale Speicheradresse zugegriffen. Die Bildung dieser digitalen Speicheradresse erfolgt mittels eines Analog-Digital-Wandlers und eines diesem nachgeschalteten Codierers. Als Tabellenspeicher kann dabei ein programmierbarer Festwertspeicher, also ein EPROM oder ein EEPROM, dienen.

Zur nach Gl.(4) erforderlichen Messung der Reynolds-Zahl dienen folgende Beziehungen:

$$\mathbf{Re} = \frac{\rho}{\eta} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{v}_m = \frac{1}{\zeta} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{v}_m \qquad (8)$$

Darin sind:

η die dynamische Viskosität des Mediums und

ζ die kinematische Viskosität des Mediums.

Die mittlere Geschwindigkeit v_m nach Gl.(1) in Gl.(8) eingesetzt, ergibt für die Reynolds-Zahl:

$$\mathbf{Re} = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{4}{\pi \cdot \mathbf{D}} \cdot \frac{\mathbf{dQ}}{\mathbf{dt}} = \frac{1}{\zeta \cdot \rho} \cdot \frac{4}{\pi \cdot \mathbf{D}} \cdot \frac{\mathbf{dQ}}{\mathbf{dt}} \qquad (9)$$

Nach der Erfindung wird gemäß Gl.(9) entweder die dynamische oder die kinematische Viskosität des Mediums zur Generierung des Meßsignals x_{Re} und damit auch zur Bestimmung des Korrekturwertes X_K verwendet, da sich beide Viskositäten unter Berücksichtigung der momentanen Dichte ρ des Mediums ohne weiteres ineinander umrechnen lassen.

Durch Einsetzen der entsprechenden Meßsignale in Gl.(9) ergibt sich unter Verwendung der dynamischen Viskosität für das Meßsignal x_{Re} folgende Beziehung:

$$x_{Re} = \frac{K_4}{x_\eta} \cdot \dot{X}_m^*, \qquad (10)$$

Darin sind

x_η ein die dynamische Viskosität des Mediums repräsentierendes viertes Meßsignal und

K_4 ein aus dem Quotient $4/\pi D$ abgeleiteter vierter Parameter.

Die Gln. (10) ist im Meßmittel 143 durch eine fünfte Teilschaltung 25 realisiert, die nach Art eines Blockschaltbildes in Fig. 6a dargestellt ist.

Die Teilschaltung 25 umfaßt einen zweiten Dividierer 251 mit einem Dividend-Eingang für den Parameter K_4 und mit einem Divisor-Eingang für das Meßsignal x_η. Der Dividierer 251 liefert einen zweiten Quotienten-Wert für K_4/x_η, der einem ersten Eingang eines sechsten Multiplizierers 252 zugeführt ist. An einem zweiten Eingang des Multiplizierers 252 liegt der Zwischenwert X^*_m. Der Multiplizierer 252 liefert somit einen sechsten Produkt-Wert, der gemäß Gl.(10) dem Meßsignal x_{Re} entspricht.

Das nach Gl.(10) zur Bestimmung des Meßsignals x_{Re} erforderliche Meßsignal x_η wird durch ein weiteres viertes Meßmittel 144 erzeugt, vgl. Fig. 2.

Zur Ermittlung der dynamischen Viskosität des Mediums können nach Gl.(8) die kinematische Viskosität und die momentane Dichte des Mediums dienen. Unter

Berücksichtigung von Gl.(9) ergibt sich das Meßsignal x_η dann wie folgt:

$$x_\eta = x_\zeta \cdot X_\rho \tag{11}$$

Darin sind

x_ζ ein die kinematische Viskosität des Mediums repräsentierendes fünftes Meßsignal und

X_ρ ein die momentane Dichte des Mediums repräsentierender zweiter Meßwert.

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung gemäß Gl.(11) benutzt das Meßmittel 144 das die kinematische Viskosität des Mediums repräsentierende Meßsignal x_ζ zur Generierung des Meßsignal x_η. Dementsprechend weist die Teilschaltung 25, wie in Fig. 6b nach Art eines Blockschaltbildes dargestellt, einen siebenten Multiplizierer 253 mit einem ersten Eingang für das Meßsignal x_ζ und mit einem zweiten Eingang für den Meßwert X_ρ auf. Der Multiplizierer 253 liefert als Produkt-Wert das Meßsignal x_η, das dem Divisor-Eingang des Dividierers 251 zugeführt ist. Der Meßwert X_ρ ist z.B. aus der momentanen Schwingfrequenz des Meßrohrs 11 abgeleitet, vgl. die eingangs referierte US-A 41 87 721.

Die zur Generierung des Meßsignal x_ζ erforderlichen Maßnahmen werden nachfolgend erläutert. Da die Viskosität eine die innere Reibung des strömenden Mediums beschreibende Größe ist, ist eine Bestimmung der kinematischen Viskosität des Mediums nach Erkenntnissen der Erfinder dadurch möglich, daß die in die Erregeranordnung 13 eingespeiste Erregungsenergie gemessen wird. Aufgrund der inneren Reibung des Mediums werden

nämlich die Schwingungen des durchströmten Meßrohrs 11 in Abhängigkeit von der Viskosität des Mediums, insb. der kinematischen Viskosität, im Vergleich zum leeren Meßrohr 11 zusätzlich bedämpft. Zur Aufrechterhaltung der Schwingungen des Meßrohrs 11 muß der durch die Reibung zusätzlich verursachte Energieverlust durch eine entsprechend erhöhte Erregungsenergie kompensiert werden.

Nach einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird daher zur Ermittlung des Meßsignal x_ζ folgende, durch Messungen ermittelte Beziehung verwendet:

$$x_\zeta = K_5 \cdot (x_{exc} - K_6)^2 \qquad (12)$$

Darin sind:

x_{exc} ein sechstes die in die Erregeranordnung 13 eingespeiste Erregungsenergie repräsentierendes Meßsignal und

K_5, K_6 ein konstanter fünfter bzw. sechster Parameter.

Das Meßsignal x_ζ ist nach Gln.(11) und (12) ausschließlich von Bestimmungsgrößen abhängig, die im Betrieb von Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessern auftreten, nämlich vom Meßwert X_ρ und vom die Erregungsenergie repräsentierenden Meßsignal x_{exc}.

Nach einer Ausgestaltung der Erfindung gemäß Gl.(12) umfaßt das Meßmittel 144 eine sechste Teilschaltung 26, die in Fig. 7 nach Art eines Blockschaltbildes dargestellt ist.

Die Teilschaltung 26 weist einen vierten Subtrahierer 261 mit einem Minuend-Eingang für das die Erregungsenergie repräsentierende Meßsignal x_{exc} und mit einem Subtrahend-

Eingang für den Parameter K_6 auf. Ein durch den Subtrahierer 261 gebildeter vierter Differenz-Wert für $x_{exc}-K_6$ wird an einen Signal-Eingang eines ersten Potenzierers 262 gelegt. An einem Exponent-Eingang liegt der Wert zwei, so daß der Potenzierer 262 den vierten Differenz-Wert in einen ersten Potenz-Wert für $(x_{exc}-K_6)^2$ überführt. Der Potenz-Wert wiederum wird einem ersten Eingang eines achten Multiplizierers 263 zugeführt, der aus diesem und aus dem an einem zweiten Eingang liegenden Parameter K_5 einen achten Produkt-Wert für $K_5(x_{exc}-K_6)^2$ bildet, der dem Meßsignal x_ζ entspricht.

Das die Erregungsenergie repräsentierende Meßsignal x_{exc} wird mittels Strom- und/oder Spannungsmessung bzw. mittels Impedanzmessung an der Erregeranordnung gebildet. Bei der beschriebenen Erregeranordnung 13 in Form einer Tauchanker-Spulenanordnung wandelt nach einer Ausgestaltung der Erfindung ein Spannungs-Strom-Wandler eine an die Spule gelegte Erreger-Spannung in einen dazu proportionalen Strom um, von dem wiederum mittels eines nachgeschalteten Effektivwert-Bildners ein Effektivwert abgeleitet wird. Dieser ist dann das die Erregungsenergie repräsentierende Meßsignal x_{exc}.

Anstelle der Messung der Errergerenergie besteht eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung der kinematischen Viskosität des Mediums darin, eine Druckdifferenz über einer geeigneten Meßstrecke entlang der Rohrleitung oder entlang des Meßrohrs 11 zu messen und entsprechend auszuwerten.

Für die kinematische Viskosität gilt nämlich bei überwiegend laminarer Strömung in der Meßstrecke:

$$\zeta = \frac{2\pi \cdot D^4}{L} \cdot \left(\frac{dQ}{dt}\right)^{-1} \cdot \Delta p \qquad (13)$$

und bei überwiegend turbulenter Strömung:

$$\nu = 0{,}3^{-4} \cdot \frac{D^{19}}{L^4} \cdot \rho^3 \cdot \left(\frac{dQ}{dt}\right)^{-7} \cdot (\Delta p)^4 . \qquad (14)$$

Darin bedeuten:

L die Länge der Meßstrecke und

Δp die Druckdifferenz über der Rohrleitungs-Meßstrecke.

Gl.(13) beruht auf dem bekannten Hagen-Poiseuille Gesetz, während Gl.(14) empirisch ermittelt ist. Beide Gleichungen sind bezüglich der Druckdifferenz monoton wachsende Funktionen, die einen einzigen gemeinsamen Schnittpunkt aufweisen.

Nach einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung werden daher zur Ermittlung des Meßsignals x_ζ folgende, sich durch Einsetzen der entsprechenden Meßsignale in die Gln.(13) und (14) ergebende Beziehungen verwendet:

$$x_\zeta = \begin{cases} X_{\zeta 1} = K_7 \cdot \dfrac{x_{\Delta p}}{X^*_m} & \text{für } X_{\zeta 1} < X_{\zeta 2} \\ X_{\zeta 2} = K_8 \cdot \dfrac{\left(x_{\Delta p}\right)^4}{\left(X^*_m\right)^7} \cdot \left(X_\rho\right)^3 & \text{für } X_{\zeta 2} \le X_{\zeta 1} \end{cases} \qquad (15)$$

Darin sind:

$X_{\zeta 1}$ ein die kinematische Viskosität des Mediums bei laminarer Strömung repräsentierender Meßwert,

$X_{\zeta 2}$ ein die kinematische Viskosität des Mediums bei turbulenter Strömung repräsentierender Meßwert,

$x_{\Delta p}$ ein die Druckdifferenz repräsentierendes siebentes Meßsignal,

K_7 ein aus dem Quotienten $2\pi D^4/L$ gemäß Gl.(13) abgeleiteter siebenter Parameter und

K_8 ein aus dem Quotienten $0,3^{-4} \cdot D^{19}/L^4$ gemäß Gl.(14) abgeleiteter achter Parameter.

Der dann tatsächlich gültige Wert für das Meßsignal x_η ist nach Gl.(15) immer genau der kleinere der beiden ermittelten Meßwerte $X_{\zeta 1}$ für laminare bzw. $X_{\zeta 2}$ für turbulente Strömung.

Das Meßsignal x_ζ ist nach Gl. (15) von Bestimmungsgrößen abhängig, die im Betrieb von Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessern auftreten, nämlich vom Zwischenwert X^*_m und vom Meßwert X_ρ. Außerdem hängt das Meßsignal x_ζ von einer weiteren Bestimmungsgröße ab, nämlich vom die Druckdifferenz repräsentierenden Meßsignal $x_{\Delta p}$, die im Betrieb ermittelt wird.

Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung umfaßt entsprechend Fig. 8a und Fig. 8b das Meßmittel 144 eine siebente Teilschaltung 27 und entsprechend Fig. 9 eine achte Teilschaltung 28 zur Realisierung von Gl.(15).

Die Teilschaltung 27 dient der Generierung der beiden die Viskosität des Mediums repräsentierenden Meßwerte $X_{\zeta 1}$, $X_{\zeta 2}$. Dementsprechend weist sie einen dritten Dividierer 271 mit einem Dividend-Eingang für das Meßsignal $x_{\Delta p}$ und mit einem Divisor-Eingang für den Zwischenwert X^*_m auf. Der Dividierer 271 erzeugt einen dritten Quotient-Wert für $x_{\Delta p}/X^*_m$, der einem ersten Eingang eines neunten

Multiplizierers 272 zugeführt ist. An einen zweiten Eingang des Multiplizierers 272 ist der Parameter K_7 angelegt, so daß der Multiplizierer 272 einen neunten Produkt-Wert für $K_7 x_{\Delta p}/X^*_m$ liefert, der dem die kinematische Viskosität des Mediums bei laminarer Strömung repräsentierenden Meßwert $X_{\zeta 1}$ entspricht.

Des weiteren umfaßt die Teilschaltung 27 einen zweiten Potenzierer 273 mit einem Signal-Eingang für das Meßsignal $x_{\Delta p}$ und mit einem Exponent-Eingang für den Wert vier. Der Potenzierer 273 liefert einen zweiten Potenz-Wert für $(x_{\Delta p})^4$ und führt diesen einem Dividend-Eingang eines vierten Dividierers 276 zu.

Ferner umfaßt die Teilschaltung 27 einen dritten Potenzierer 274 mit einem Signal-Eingang für den Zwischenwert X^*_m und mit einem Exponent-Eingang für den Wert sieben. Der Potenzierer 274 liefert einen dritten Potenz-Wert für $(X^*_m)^7$.Ein vierten Potenzierer 275 mit einem Signal-Eingang für den Zwischenwert X_ρ und mit einem Exponent-Eingang für den Wert drei liefert einen vierten Potenz-Wert für $(X_\rho)^3$.

Der dritte Potenz-Wert ist einem Divisor-Eingang des vierte Dividierers 276 zugeführt, während der vierte Potenz-Wert an einem ersten Eingang eines zehnten Multiplizierers 277 liegt. Ferner weist der Multiplizierer 277 einen zweiten Eingang für den Parameter K_8 und einen dritten Eingang für einen vom Dividierer 276 erzeugten vierten Quotient-Wert für $(x_{\Delta p})^4/(X^*_m)^7$auf. Der Multiplizierer 277 liefert somit einen zehnten Produkt-Wert für $K_8 \cdot (X_\rho)^3 \cdot (x_{\Delta p})^4/(X^*_m)^7$, der dem die kinematische

Viskosität des Mediums bei turbulenter Strömung repräsentierenden Meßwert $X_{\zeta 2}$ entspricht.

Die achte Teilschaltung 28 entsprechend Fig. 9 dient der Realisierung der beiden Ungleichungen gemäß Gl.(15). Die Teilschaltung 28 umfaßt einen dritten Komparator 281 mit einem ersten Eingang für den neunten Produkt-Wert und mit einem zweiten Eingang für den zehnten Produkt-Wert. Der Komparator 281 erzeugt einen fünften Vergleichs-Wert für $K_7 x_{\Delta p}/X^*_m < K_8 X_\rho (x_{\Delta p})^4/(X^*_m)^7$, der gleich eins ist, wenn der neunte Produkt-Wert kleiner als der zehnte Produkt-Wert ist; anderenfalls ist der fünfte Vergleichs-Wert gleich null.

Der fünfte Vergleichs-Wert ist einem zweiten Inverter 282 zugeführt und liegt außerdem an einem ersten Eingang eines elften Multiplizierers 283. An einem zweiten Eingang des Multiplizierers 283 liegt der neunte Produkt-Wert, so daß der Multiplizierer 283 einen elften Produkt-Wert liefert, der gleich dem neunten Produkt-Wert ist, wenn der fünfte Vergleichs-Wert gleich eins ist, oder der gleich null ist, wenn der fünfte Vergleichs-Wert null ist.

Der Inverter 282 liefert einen sechsten Vergleichs-Wert, der zum fünften Vergleichs-Wert invertiert ist und der einem ersten Eingang eines zwölften Multiplizierers 284 zugeführt ist. An einem zweiten Eingang des Multiplizierers 284 liegt der zehnte Produkt-Wert, so daß der Multiplizierer 284 einen zwölften Produkt-Wert liefert, der gleich dem zehnten Produkt-Wert ist, wenn der sechste Vergleichs-Wert gleich eins ist, oder der gleich null ist, wenn der sechste Vergleichs-Wert null ist.

Der elfte Produkt-Wert ist einem ersten Eingang eines vierten Addierers 285 und der zwölfte Produkt-Wert einem zweiten Eingang des Addierers 285 zugeführt. Da gleichzeitig immer nur einer der beiden Produkt-Werte ungleich null ist, ist ein vom Addierer 285 gelieferter vierter Summen-Wert gleich dem Meßsignal x_ζ.

Ein möglicher Unterschied zwischen der nach Gl.(15) ermittelten und der im Meßrohr 11 tatsächlich vorhandenen kinematischen Viskosität, der z.B. auf den Einfluß von Temperaturunterschieden im Medium zurückzuführen ist, läßt sich durch entsprechende Temperaturmessungen ohne weiteres kompensieren.

Die Teilschaltungen 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 und 28 sind als analoge Rechenschaltungen vorausgesetzt, können jedoch mindestens teilweise als digitale Rechenschaltungen mit diskreten Komponenten oder mit einem Mikroprozessor realisiert sein.

Im Falle, daß der Betrieb der praktisch parallel arbeitenden Teilschaltungen 22...28 zeitunkritisch ist, können gleichartige Funktionen wie addieren, subtrahieren, multiplizieren, dividieren bzw. potenzieren ggf. mittels Multiplexern bzw. Demultiplexern derart zusammengefaßt werden, daß diese Funktionen jeweils nur einmal in einer Teilschaltung realisiert sind und die Generierung der einzelnen errechneten Werte durch eine sequentielle Beschaltung der Eingänge mit den entsprechenden Eingangs-Werten erfolgt.

PATENTANSPRÜCHE

1. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser für ein in einer Rohrleitung strömendes Medium, der umfaßt:
- mindestens ein Meßrohr (11), das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
- ein Trägermittel (12), das an einem einlaßseitigen Ende und einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs (11) fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt,
- eine Erregeranordnung (13), die das Meßrohr (11) im Betrieb in Schwingungen versetzt,
- ein erstes Meßmittel (141) zum Messen der Schwingungen, das
 -- einlaßseitig am Meßrohr (11) angeordnet ist und
 -- ein erstes Meßsignal (x_{s1}) liefert,
- ein zweites Meßmittel (142) zum Messen der Schwingungen, das
 -- auslaßseitig am Meßrohr (11) angeordnet ist und
 -- ein zweites Meßsignal (x_{s2}) liefert,
- ein drittes Meßmittel (143),
 -- das ein die momentane Reynolds-Zahl des strömenden Mediums repräsentierendes drittes Meßsignal (x_{Re}) liefert, und
- eine Auswerte-Elektronik (2), die
 -- einen vom ersten, vom zweiten und vom dritten Meßsignal (x_{s1}, x_{s2}, x_{Re}) abgeleiteten, einen Massedurchfluß repräsentierenden ersten Meßwert (X_m) sowie
 -- einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal (x_{s1}, x_{s2}) abgeleiteten, eine momentane Dichte des Mediums repräsentierenden zweiten Meßwert (X_ρ) liefert.

2. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 1, bei dem die Auswerte-Elektronik (2) einen vom dritten Meßsignal (x_{Re}) abgeleiteten Korrekturwert (X_K) liefert.

3. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 2, bei dem die Auswerte-Elektronik (2) den Korrekturwert (X_K)
- mittels eines durch Kalibrierung ermittelten konstanten Korrekturwerts (XK2) für laminare Strömung,
- mittels eines durch Kalibrierung ermittelten konstanten Korrekturwerts (XK3) für turbulente Strömung und
- mittels eines nach einer zwischen den beiden konstanten Korrekturwerten (XK2, XK3) liegenden Interpolations-Funktion ermittelten interpolierten Korrekturwerts liefert.

4. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 2, bei dem die Auswerte-Elektronik (2) einen Tabellenspeicher aufweist,
- in dem von der Reynolds-Zahl abhängige digitalisierte Korrekturwerte abgelegt sind, und
- der mittels einer aufgrund des dritten Meßsignals (xRe) gebildeten digitalen Speicherzugriffsadresse den Korrekturwert (XK) liefert.

5. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 3 oder 4, bei dem die Auswerte-Elektronik (2) einen vom ersten und vom zweiten Meßsignal (x_{s1}, x_{s2}) abgeleiteten, unkorrigierten Massedurchfluß repräsentierenden Zwischenwert (X^*_m) liefert.

6. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 5, bei dem die Auswerte-Elektronik (2) den ersten Meßwert (X_m) aufgrund des Zwischenwerts (X^*_m) und des Korrekturwerts (X_K) liefert.

7. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 6, der ein viertes Meßmittel (144) umfaßt, das eine dynamische Viskosität des Mediums erfaßt und ein diese repräsentierendes viertes Meßsignal (x_η) liefert.

8. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 7, bei dem das dritte Meßmittel (143) aufgrund des unkorrigierten Zwischenwerts (X^*_m) und des vierten Meßsignals (x_η) das dritte Meßsignal (x_{Re}) liefert.

9. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 7, bei dem das vierte Meßmittel (144) eine kinematische Viskosität des Mediums erfaßt und ein diese repräsentierendes fünftes Meßsignal (x_ζ) liefert.

10. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach den Ansprüchen 8 und 9, bei dem das vierte Meßmittel (144) das vierte Meßsignal (x_η) aufgrund des zweiten Meßwerts (X_ρ) und des fünften Meßsignals (x_ζ) liefert.

11. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 9 oder 10, bei dem die Erregeranordnung (13) eine Spule aufweist, die mit einer Erregerenergie gespeist ist, von deren Strom und/oder von deren Spannung das vierte Meßmittel (144) das vierte Meßsignal (x_η) und/oder das fünfte Meßsignal (x_ζ) ableitet.

12. Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemesser nach Anspruch 9 oder 10, bei dem das vierte Meßmittel (144) das vierte Meßsignal (x_η) und/oder das fünfte Meßsignal (x_ζ) von einer entlang der Rohrleitung gemessenen Druckdifferenz ableitet.

13. Verfahren zum Erzeugen eines einen Massedurchfluß eines in einer Rohrleitung strömenden Mediums repräsentierenden ersten Meßwerts (X_m) mittels eines Coriolis-Massedurchfluß-/Dichtemessers, der umfaßt:
- mindestens ein Meßrohr (11), das im Betrieb vom Medium durchströmt ist,
- ein Trägermittel (12), das an einem einlaßseitigen Ende und einem auslaßseitigen Ende des Meßrohrs (11) fixiert ist und dieses somit schwingfähig einspannt, und
- eine Erregeranordnung (13), die das Meßrohr (11) im Betrieb in Schwingungen versetzt, und

welches Verfahren folgende Schritte umfaßt:
- Erfassen der Schwingungen des Meßrohrs (11) und Erzeugen eines einlaßseitige Schwingungen repräsentierenden ersten Meßsignals (x_{s1}) und eines auslaßseitige Schwingungen repräsentierenden zweiten Meßsignals (x_{s2}) zum Entwickeln eines einen unkorrigierten Massedurchfluß repräsentierenden Zwischenwertes (X^*_m),
- Erzeugen eines eine momentane Reynolds-Zahl des strömenden Mediums repräsentierenden dritten Meßsignals (x_{Re}) mittels des Zwischenwertes (X^*_m) und mittels eines eine dynamische Viskosität des Mediums repräsentierenden vierten Meßsignals (x_η) sowie
- Korrigieren des Zwischenwertes (X^*_m) mittels eines vom dritten Meßsignal (x_{Re}) abgeleiteten Korrekturwertes (X_K).

14. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das vierte Meßsignal (x_η) von einem Strom und/oder von einer Spannung einer in die Erregeranordnung (13) eingespeisten Erregerenergie abgeleitet wird.

15. Verfahren nach Anspruch 13, bei dem das vierte Meßsignal (x_η) von einer entlang der Rohrleitung gemessenen Druckdifferenz abgeleitet wird.

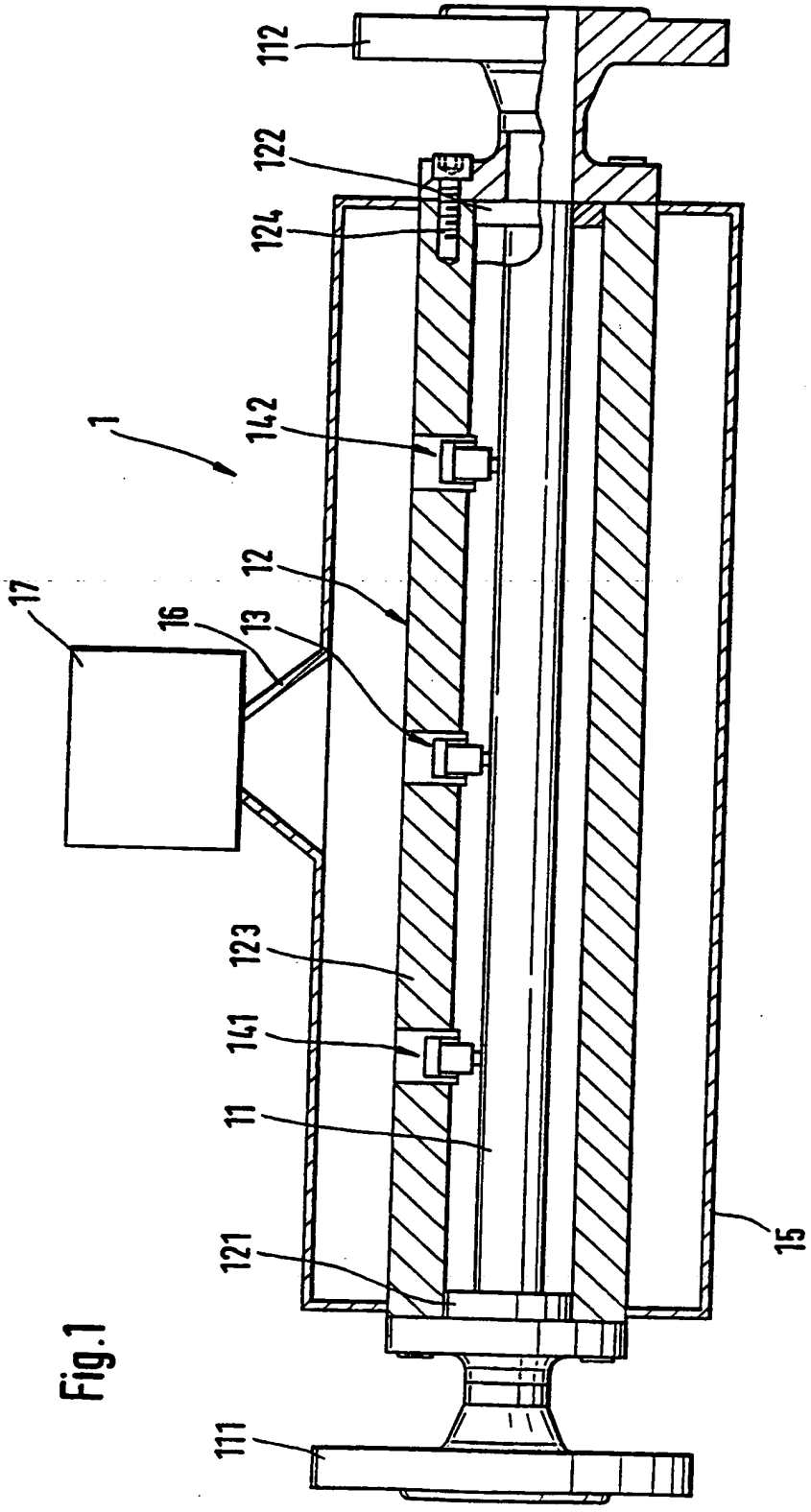


Fig.1

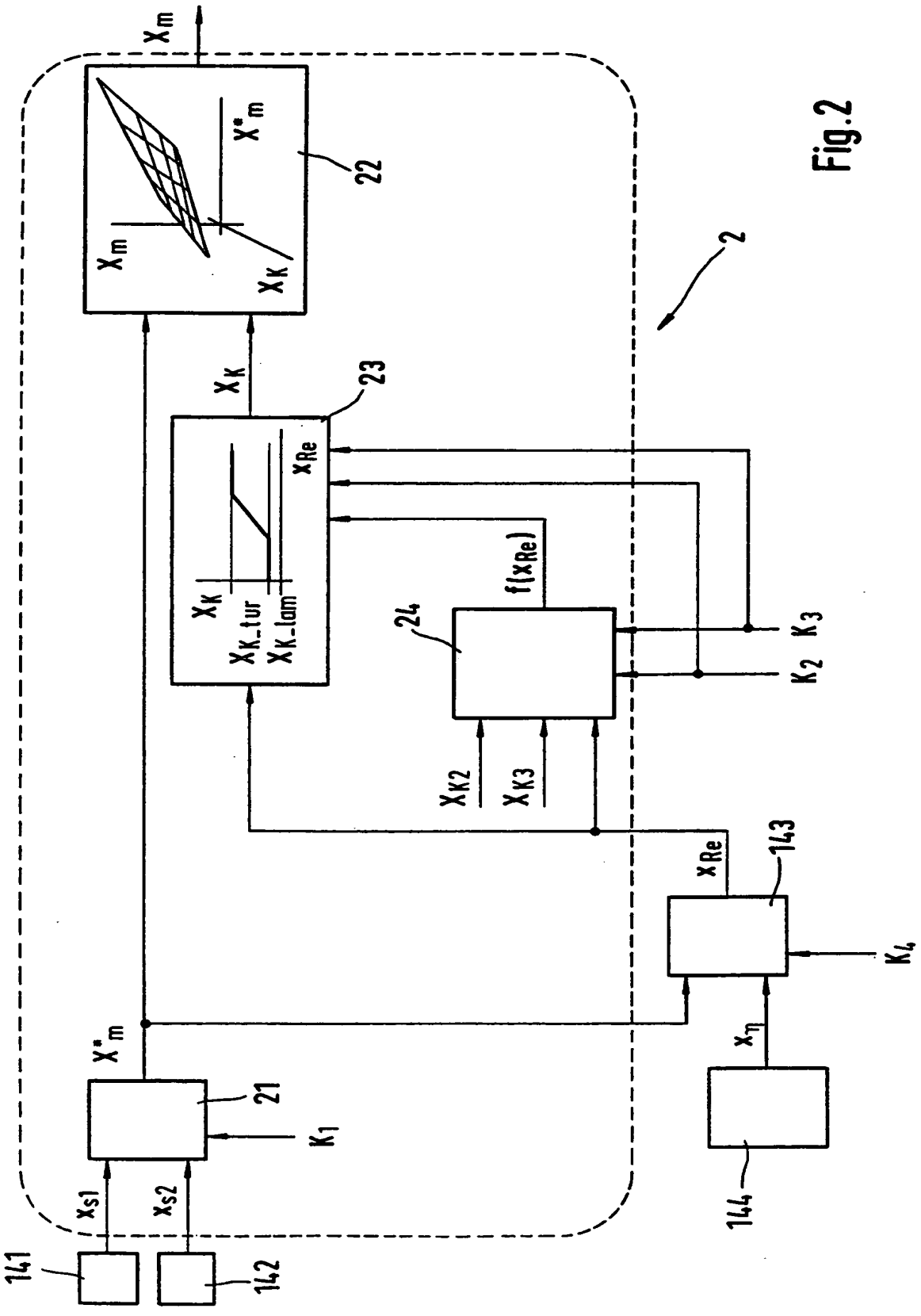

x_m
x'_m
22
x_m
x_K
2
x_K
23
x_{Re}
x_K
x_{K_tur}
x_{K_lam}
$f(x_{Re})$
24
K_3
K_2
x_{K2}
x_{K3}
x_{Re}
143
K_4
x_η
144
x'_m
21
K_1
x_{s1}
x_{s2}
141
142

Fig.2

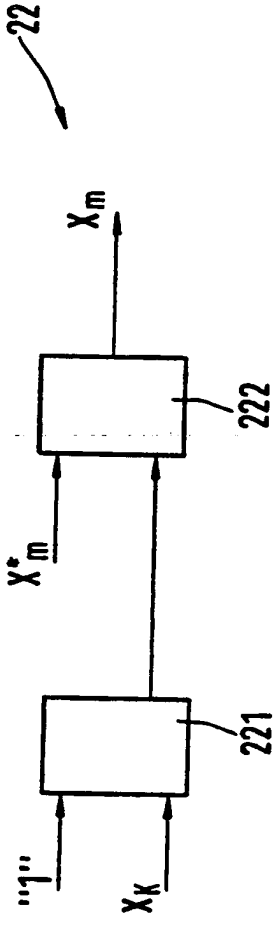

22
x_m
222
x^*_m
221
"1"
x_K

Fig.3

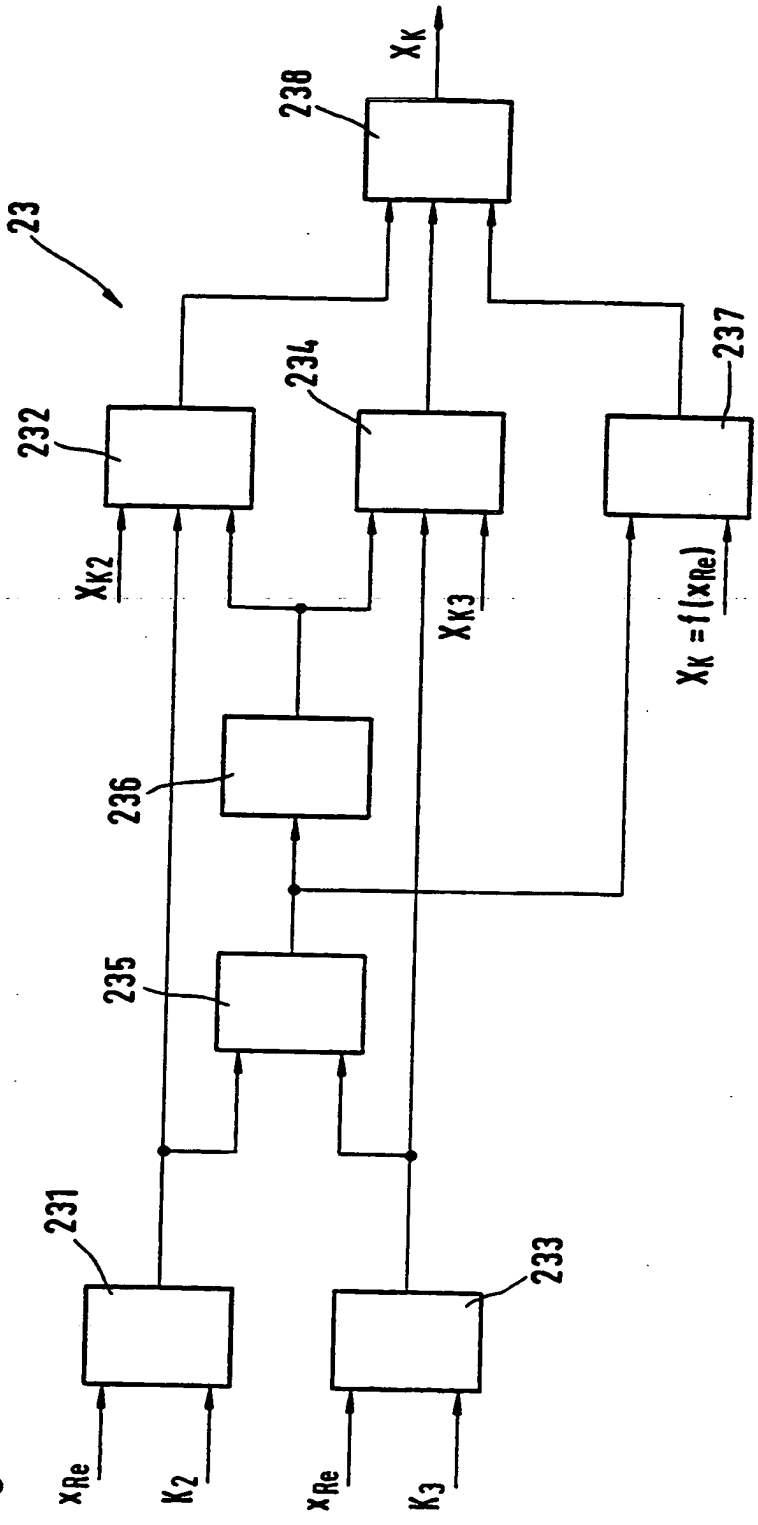

23
238
x_K
232
234
237
x_{K2}
x_{K3}
$x_K = f(x_{Re})$
236
235
231
233
x_{Re}
K_2
x_{Re}
K_3

Fig.4

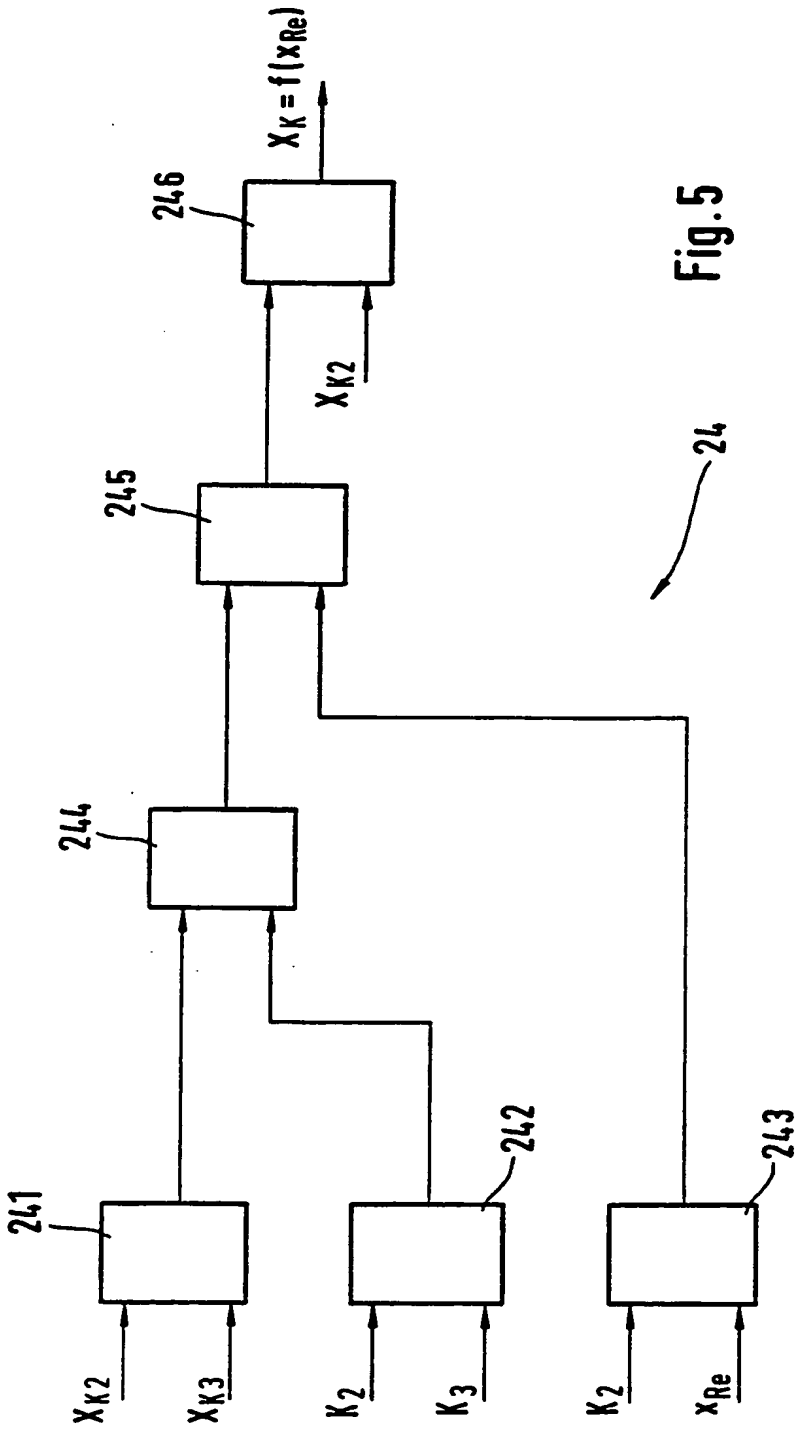


Fig.5

Fig.6a

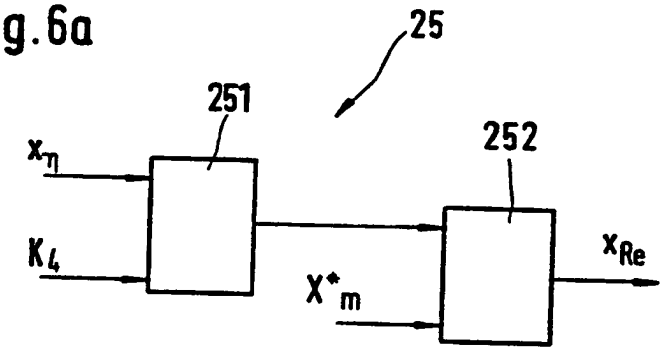


Fig.6b

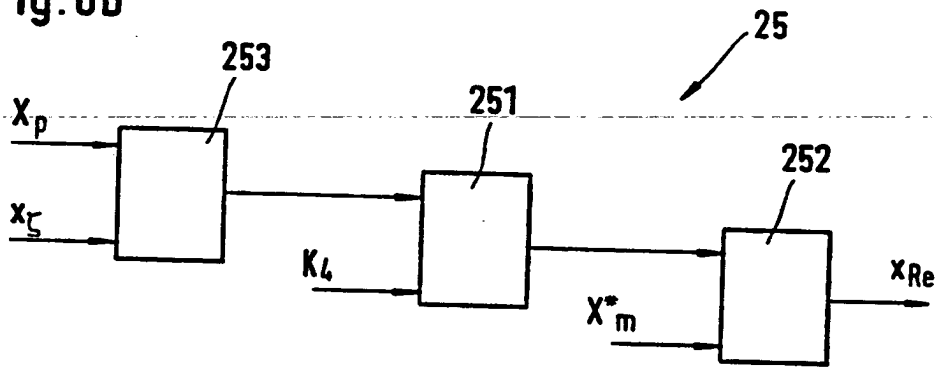


Fig.7

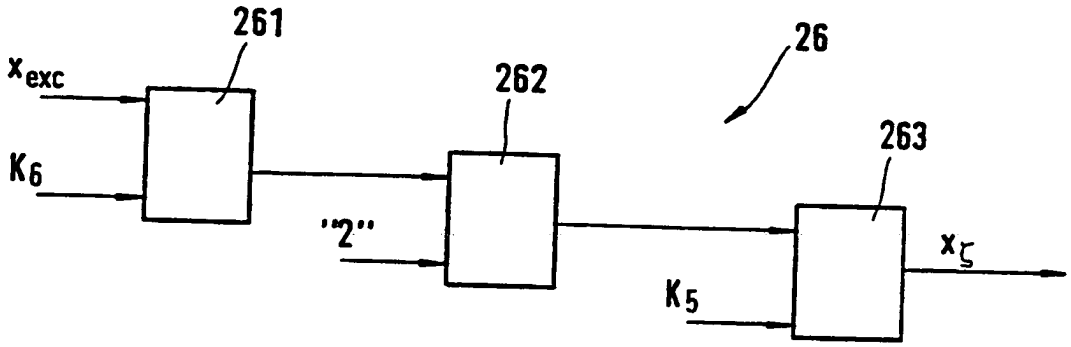


Fig.8a

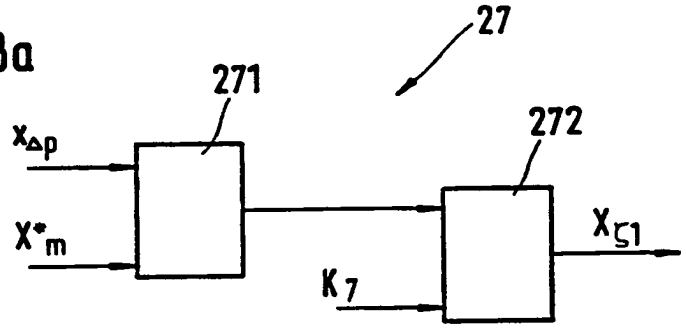
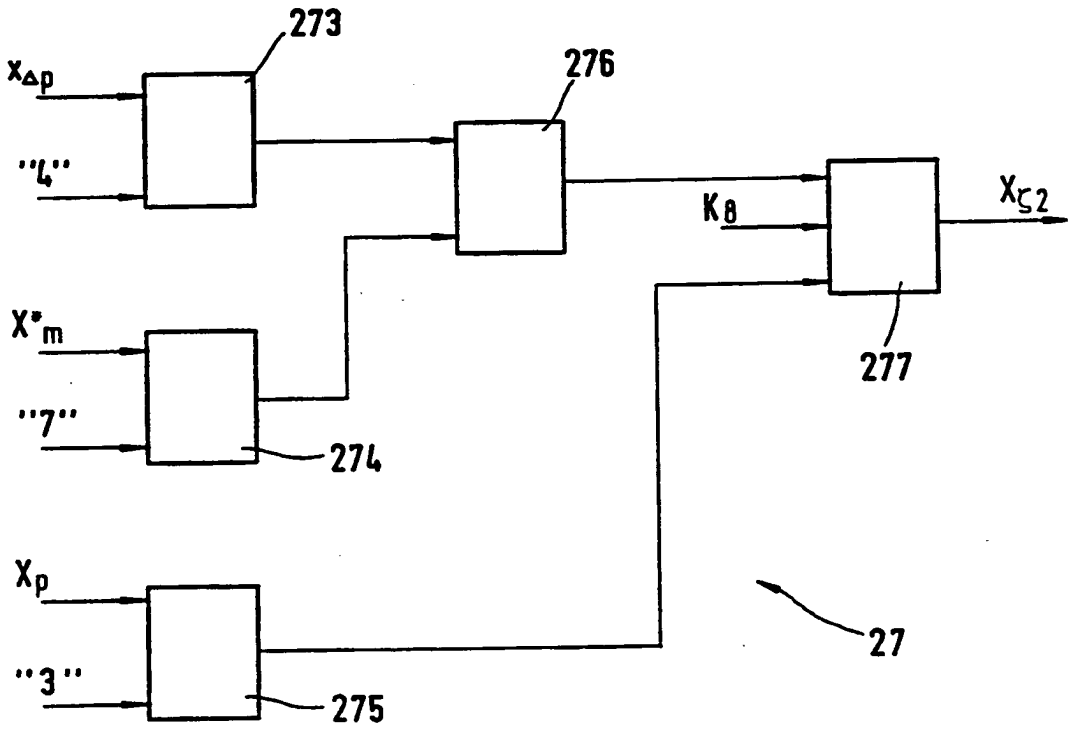

27
271
272
$x_{\Delta p}$
X^*_m
K_7
$X_{\zeta 1}$

Fig.8b


273
276
$x_{\Delta p}$
"4"
K_8
$X_{\zeta 2}$
X^*_m
"7"
277
274
X_p
"3"
275
27

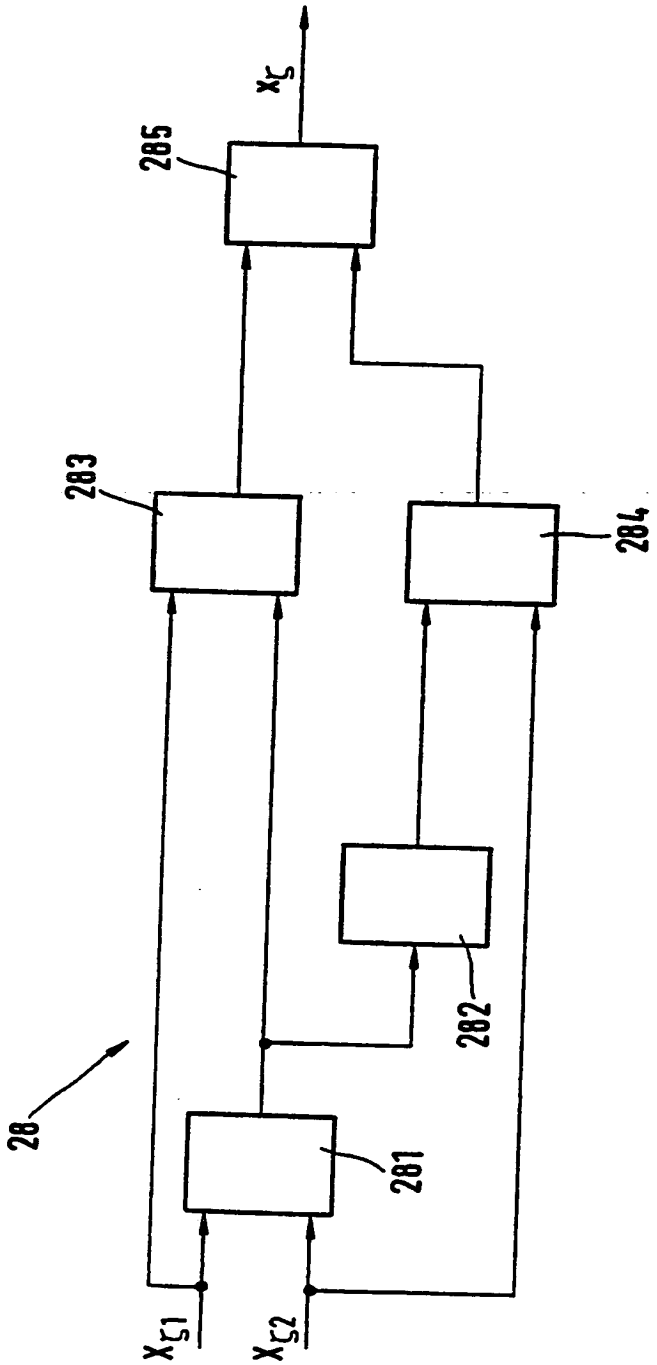


Fig.9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. ional Application No
PCT/EP 99/09166

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01F1/84

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01F G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 736 653 A (DRAHM WOLFGANG ET AL) 7 April 1998 (1998-04-07) column 3 -column 6; figure 1	1-15
A	WO 97 26509 A (MICRO MOTION INC) 24 July 1997 (1997-07-24) page 5, paragraph 3 page 12, paragraph 2; figure 5	1-15
A	US 5 576 487 A (GIMSON CHRISTOPHER J) 19 November 1996 (1996-11-19) column 7, paragraph 2; figure 8	1-15
A	DE 36 08 406 A (ROTA KG) 17 September 1987 (1987-09-17) column 4, line 27 -column 6, line 50; figure 2	1-15

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
17 April 2000	28/04/2000

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Fenzl, B

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Int. ional Application No
PCT/EP 99/09166

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5736653 A	07-04-1998	EP 0754934 A	22-01-1997
		JP 2866060 B	08-03-1999
		JP 9033309 A	07-02-1997
WO 9726509 A	24-07-1997	AU 1579797 A	11-08-1997
		BR 9706984 A	20-07-1999
		CA 2241934 A	24-07-1997
		CN 1213431 A	07-04-1999
		EP 0874976 A	04-11-1998
		US 5861561 A	19-01-1999
US 5576487 A	19-11-1996	GB 2263776 A	04-08-1993
		AU 2884392 A	01-09-1993
		DE 69229799 D	16-09-1999
		EP 0624242 A	17-11-1994
		WO 9315381 A	05-08-1993
DE 3608406 A	17-09-1987	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Int .tionales Aktenzeichen
PCT/EP 99/09166

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01F1/84

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G01F G01N

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 736 653 A (DRAHM WOLFGANG ET AL) 7. April 1998 (1998-04-07) Spalte 3 -Spalte 6; Abbildung 1	1-15
A	WO 97 26509 A (MICRO MOTION INC) 24. Juli 1997 (1997-07-24) Seite 5, Absatz 3 Seite 12, Absatz 2; Abbildung 5	1-15
A	US 5 576 487 A (GIMSON CHRISTOPHER J) 19. November 1996 (1996-11-19) Spalte 7, Absatz 2; Abbildung 8	1-15
A	DE 36 08 406 A (ROTA KG) 17. September 1987 (1987-09-17) Spalte 4, Zeile 27 -Spalte 6, Zeile 50; Abbildung 2	1-15

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
17. April 2000	28/04/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL – 2280 HV Rijswijk Tel. (+31–70) 340–2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Fenzl, B

1

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Int. ...onales Aktenzeichen
PCT/EP 99/09166

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5736653 A	07-04-1998	EP 0754934 A	22-01-1997
		JP 2866060 B	08-03-1999
		JP 9033309 A	07-02-1997
WO 9726509 A	24-07-1997	AU 1579797 A	11-08-1997
		BR 9706984 A	20-07-1999
		CA 2241934 A	24-07-1997
		CN 1213431 A	07-04-1999
		EP 0874976 A	04-11-1998
		US 5861561 A	19-01-1999
US 5576487 A	19-11-1996	GB 2263776 A	04-08-1993
		AU 2884392 A	01-09-1993
		DE 69229799 D	16-09-1999
		EP 0624242 A	17-11-1994
		WO 9315381 A	05-08-1993
DE 3608406 A	17-09-1987	KEINE	